昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，November 2008，51(11)：1151－1156 ISSN 0454-6296

雷公藤总生物碱对粘虫生长发育及几种代谢酶系的影响

周 琳[1,2]，马志卿[1]，冯俊涛[1]，张 兴[1,*]

（1. 西北农林科技大学无公害农药研究服务中心/陕西省生物农药工程技术研究中心，陕西杨凌 712100；2. 河南农业大学植物保护学院，郑州 450002）

摘要：雷公藤生物碱是雷公藤 *Tripterygium wilfordii* Hook f. 中的主要杀虫活性物质。为进一步深入了解雷公藤总生物碱的杀虫作用，本研究采用小叶碟添加法测定了雷公藤总生物碱对粘虫 *Mythimna separate*（Walker）5 龄幼虫生长发育及几种代谢酶系的影响。结果表明：雷公藤总生物碱对粘虫 5 龄幼虫生长发育有明显抑制作用，表现为体重、体重增加量和相对生长率显著下降，幼虫龄期延长，幼虫存活率、化蛹率和成虫羽化率显著降低；可显著激活酯酶、羧酸酯酶；明显抑制酸性磷酸酯酶和碱性磷酸酯酶的活性；对谷胱甘肽 S-转移酶表现为先激活后抑制的趋势；细胞色素 P450 酶系的 O-脱甲基酶在处理后 3 h 活性变化不明显，12 和 24 h 后被激活，36 h 后接近同期对照。

关键词：雷公藤；总生物碱；粘虫；生长发育；代谢酶

中图分类号：Q965.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2008)11-1151-06

Effects of total alkaloid from *Tripterygium wilfordii* Hook f. on the growth and development of *Mythimna separata*（Walker）（Lepidoptera：Noctuidae）and its metabolic enzymes

ZHOU Lin[1,2]，MA Zhi-Qing[1]，FENG Jun-Tao[1]，ZHANG Xing[1,*]（1. Research and Development Center of Biorational Pesticide，Northwest A&F University/Shaanxi Research Center of Biopesticide Technology and Engineering，Yangling，Shaanxi 712100，China；2. College of Plant Protection，Henan Agricultural University，Zhengzhou 450002，China）

Abstract：Alkaloid is the main insecticidal composition in *Tripterygium wilfordii* Hook f.，a famous insecticidal plant. In order to study its insecticidal action and judge its prospects，we assayed the effects of total alkaloid on the growth，development and six metabolic enzymes of the 5th instar larvae of *Mythimna separata*（Walker）. The results showed that the treated larvae had marked reduction in body weight，weight gain and relative growth rate compared with the control. The growth rate，survival rate and pupation rate of the treated *M. separata* larvae and the emergence rate of the treated adults were lower than those of the control. Esterase and carboxyl esterase（CarE）in the treated insects were distinctly activated. The activities of acid phosphatase（ACP）and alkaline phosphatase（ALP）in the treated insects were remarkably inhibited by total alkaloid all the time except ALP activity at 3 h after treatment. The activity of glutathione S-transferases（GSTs）was distinctly activated by total alkaloid at 3，12 and 24 h after treatment，and was equal to that of the control at 36 h and 48 h after treatment，but was inhibited at 48 h after treatment. The O-demethylase activity of cytochrome P450（MFO）showed no distinct change at 3 h after treatment and then was activated at 12 and 24 h after treatment，but was not different from the control at 36 h and 48 h after treatment.

Key words：*Tripterygium wilfordii*；total alkaloid；*Mythimna separata*；growth and development；metabolic enzymes

基金项目：国家“十五”科技攻关项目(2002BA516A04)

作者简介：周琳，女，1971 年生，博士，副教授，主要从事生物农药及植物保护研究，E-mail：zhoulin0704@yahoo.com.cn

＊通讯作者 Author for correspondence，E-mail：zhxing1952@126.com

收稿日期 Received：2007-04-23；接受日期 Accepted：2008-10-10

雷公藤生物碱是卫矛科雷公藤属植物雷公藤 *Tripterygium wilfordii* Hook f.中的主要生物活性成分，目前已从该植物中分离鉴定了20余种生物碱(罗都强等,2000),并证明了多种雷公藤生物碱的药理作用和医药用途(夏焱等,2005)。西北农林科技大学无公害农药研究服务中心对雷公藤的杀虫作用进行了较为系统的研究，已初步明确总生物碱是该植物中主要的杀虫活性成分，其对粘虫 *Mythimna separata* (Walker)、菜青虫 *Pieris rapae* (L.)、小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)等多种昆虫具有较强的胃毒、拒食、麻痹和生长发育抑制作用(罗都强等,2001；周琳等,2006a，2006b)，尤其是对粘虫的生长发育抑制作用特别明显。

酯酶、谷胱甘肽S-转移酶、细胞色素P450酶系均为昆虫体内重要的解毒代谢酶，参与各种内、外源物质的代谢，尤其是在杀虫剂及植物次生物质代谢中具有重要的作用(Gordon，1961；Yang *et al*.，2001)。根据昆虫与植物的关系，雷公藤生物碱对昆虫的生物活性可能与雷公藤对昆虫危害的抵抗作用(或对昆虫的抗性)有关。因此，本研究以粘虫5龄幼虫为试虫，较系统地测定了雷公藤总生物碱对试虫生长发育的抑制作用及对几种代谢酶系的影响，结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

粘虫由西北农林科技大学无公害农药研究服务中心养虫室(25±1℃；RH 70%~80%；光周期12L:12D)提供。选择个体大小和发育一致、健康、活泼的5龄初期幼虫供试。

1.2 供试药剂

雷公藤总生物碱：纯度为95%，由西北农林科技大学无公害农药研究服务中心从雷公藤根皮中分离所得。

1.3 生长发育抑制作用测定方法

采用小叶碟添加法(张兴和赵善欢，1983)。分别用雷公藤总生物碱丙酮液31.25，62.5，125 mg/L处理玉米叶片，单头饲喂饥饿4 h的粘虫5龄幼虫。每处理3次重复，每重复30头。以丙酮处理为对照。3 d后换喂正常叶片，直至成虫羽化。分别于处理1 d和2 d后称量幼虫体重，按下式计算相对生长率(陈志辉，1987)；每天定时记载各处理幼虫龄期和活虫数，统计幼虫存活率；观察幼虫化蛹和成虫羽化情况，称量蛹重，统计化蛹率和成虫羽化率。

$$\text{相对生长率(mg/mg·d)} = \frac{\text{体重增加量(mg)}}{\text{平均体重(mg)} \times \text{取食时间(d)}}$$

1.4 代谢酶活性测定方法

1.4.1 试虫处理方法：取若干头试虫，饥饿8 h后，随机分为对照组和处理组，单头单皿饲养。处理组每头试虫饲喂点涂1 μL 1 000 mg/L雷公藤总生物碱的玉米叶碟(直径为0.5 cm)，对照组饲喂点涂1 μL丙酮的玉米叶碟(直径为0.5 cm)。挑选8 h内取食完整个叶碟的幼虫供试。分别于处理后3，12，24，36，48 h取处理试虫及相应的对照试虫各20头待试，每处理重复3次。

1.4.2 α-乙酸萘酯酶和α-乙酸萘酯羧酸酯酶(carboxyl esterase，CarE)活性测定：将20头处理试虫整体置于预冷的组织匀浆器中，按5头/mL加入0.04 mol/L pH 7.0磷酸缓冲液冰浴匀浆，所得匀浆液在0~4℃下以4 000×g离心15 min，上清液为待测酶液。酶活性测定参照van Asperen(1962)的方法。蛋白含量测定采用考马斯亮蓝G-250法(Bradford，1976)，下同。每处理重复3次。以每毫克蛋白每30分钟催化水解底物的量表示酶比活力。测定羧酸酯酶活性时，底物内含1×10^{-4} mol/L毒扁豆碱。

1.4.3 酸性磷酸酯酶(acid phosphatase，ACP)和碱性磷酸酯酶(alkaline phosphatase，ALP)活性测定：分别取处理试虫20头，以相应缓冲液(ACP，0.2 mol/L pH 4.6醋酸缓冲液；ALP，0.04 mol/L pH 9.6巴比妥钠-HCl缓冲液)冰浴匀浆，匀浆液于0~4℃下以4 000×g离心15 min，上清液为待测酶液。酶活性测定采用Bessey等(1964)的方法。每处理重复3次。以每毫克蛋白每30 min催化水解底物的量表示酶比活力。

1.4.4 谷胱甘肽S-转移酶(glutathione S-transferases，GSTs)活性测定：取20头处理试虫整体置于预冷的组织匀浆器中，按5头/mL加入预冷的0.1 mol/L pH 8.9 Tris-HCl缓冲液(含10 mmol/L还原型谷胱甘肽)冰浴匀浆，所得匀浆液以10 000×g冷冻离心20 min，取上清液为待测酶液。酶活性测定参照Brooth等(1973)的方法。每处理重复3次。以每毫克蛋白每分钟OD值的变化量表示酶比活力。

1.4.5 细胞色素P450 O-脱甲基活性(O-demethylase activity of cytochrome P450，MFO)测定：分别取试虫20头，于0~4℃下解剖出中肠(拉掉围食膜)，置预

冷的组织匀浆器中，按 5 头/mL 加入预冷的 0.1 mol/L pH 7.2 磷酸缓冲液冰浴匀浆，所得匀浆液于 0～4℃ 下以 10 000×g 离心 15 min，取上清液为待测酶液。酶活性测定参照 Hansen 和 Hodgson（1971）以及吴承春和王沫(2003)的方法。每处理重复 3 次。以每毫克蛋白每 30 分钟催化生成对-硝基酚的量表示酶比活力。

2　结果与分析

2.1　雷公藤总生物碱对粘虫 5 龄幼虫生长发育的影响

2.1.1　对幼虫生长的影响：雷公藤总生物碱对粘虫 5 龄幼虫生长的影响见表 1。处理组试虫体重、体重增加量和相对生长率均显著低于对照，且随处理浓度增加而下降。31.25 和 62.5 mg/L 处理组幼虫 2 d 后体重即比对照分别下降 52.93% 和 64.17%；体重增加量比对照分别下降 72.49% 和 86.76%；相对生长率比对照分别下降 41.87% 和 64.46%。125 mg/L 处理组幼虫在 1 d 后体重即出现负增长。

表 1　雷公藤总生物碱对粘虫 5 龄幼虫生长的影响

Table 1　Effect of total alkaloid from *Tripterygium wilfordii* on the growth of 5th instar larvae of *Mythimna separata*

处理浓度(mg/L) Treatment concentration	幼虫体重(mg) Larval weight			体重增加量(mg) Weight gain		相对生长率(mg/mg·d) Relative growth rate	
	0 h	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
31.25	38.66±1.90 a	64.85±0.89 b	68.48±1.90 b	25.18±1.59 b	29.02±2.70 b	0.0388±0.0022 b	0.0211±0.0015 b
62.5	39.67±1.37 a	43.34±2.77 c	52.13±2.73 c	4.67±0.90 c	13.47±0.86 c	0.0107±0.0014 c	0.0129±0.0002 c
125	40.25±1.44 a	35.01±0.93 d	31.58±0.90 d	−5.83±0.53 d	−9.26±1.21 d	−0.0166±0.0011 d	−0.0147±0.0020 d
对照 CK	39.90±0.83 a	99.58±1.05 a	145.48±4.47 a	59.68±0.44 a	105.5±3.88 a	0.0599±0.0005 a	0.0363±0.0003 a

同列数据后标有不同字母者表示经 Duncan 氏新复极差测验在 $P_{0.05}$ 水平上差异显著；下表同。Data within a column followed by different letters show significant difference at $P_{0.05}$ by Duncan's multiple range test. The same for the following tables.

2.1.2　对幼虫龄期的影响：粘虫 5 龄幼虫在不同浓度雷公藤总生物碱处理下的发育情况见表 2。结果表明，对照组第 4 d 全部试虫进入 6 龄期。雷公藤总生物碱不同浓度处理后均使粘虫幼虫龄期延长，且处理浓度与试虫龄期呈明显的正相关。31.25 和 62.5 mg/L 处理组试虫在试验第 4 d 分别有 58.89% 和 12.22% 的试虫进入 6 龄期，而 125 mg/L 处理组存活试虫则全部处于 5 龄期，到第 5 d 时才有 54.44% 的试虫进入 6 龄期。

表 2　雷公藤总生物碱对粘虫幼虫发育的影响

Table 2　Effect of total alkaloid from *Tripterygium wilfordii* on the developmental duration of *Mythimna separata* larvae

处理浓度(mg/L) Treatment concentration	各龄期试虫占总虫数的比例 Proportion of each instar to total tested larvae (%)					
	3 d		4 d		5 d	
	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar
31.25	75.56±1.92	24.44±1.92	41.11±1.92	58.89±1.92	0.00±0.00	94.44±5.09
62.5	96.67±3.33	0.00±0.00	75.56±1.92	12.22±1.92	5.56±1.92	81.11±5.09
125	75.56±1.92	0.00±0.00	67.78±5.09	0.00±0.00	7.78±1.92	54.44±3.85
CK	20.00±3.33	80.00±3.33	0.00±0.00	100.00±0.00	0.00±0.00	100.00±0.00

125 mg/L 处理组试虫 5 d 时的死亡率为 37.78%。The mortality of tested larvae after treatment with 125 mg/L alkaloid for 5 d was 37.78%.

2.1.3　对幼虫存活、化蛹和成虫羽化的影响：雷公藤总生物碱对粘虫幼虫存活、化蛹和成虫羽化的影响结果(表 3)显示，各处理组的幼虫存活率、化蛹率和羽化率均显著低于对照，并且均随着处理浓度的增大而降低。凡存活下来的幼虫均能正常化蛹和羽化。但处理蛹重均低于对照蛹重。

表 3　雷公藤总生物碱对粘虫幼虫存活、化蛹和成虫羽化的影响

Table 3　Effect of total alkaloid from *Tripterygium wilfordii* on the larval survival, pupation and adult emergence of *Mythimna separata*

处理浓度(mg/L) Treatment concentration	幼虫存活率(%) Survival rate	化蛹率(%) Pupation rate	平均蛹重(mg) Average pupal weight	成虫羽化率(%) Emergence rate of adults
31.25	88.89±1.92 b	88.89±1.92 b	366.4 (80)	88.89±1.92 b
62.5	73.33±3.33 c	73.33±3.33 c	353.6 (65)	73.33±3.33 c
125	52.22±8.39 d	52.22±8.39 d	348.3 (46)	52.22±8.39 d
CK	97.78±1.92 a	97.78±1.92 a	370.2 (88)	97.78±1.92 a

括号内数字为统计试虫数。The values in parentheses are numbers of tested insects.

2.1 雷公藤总生物碱对粘虫酯酶活性的影响

粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后酯酶活性变化见图 1。可以看出，雷公藤总生物碱对粘虫 5 龄幼虫酯酶具有明显的影响，酶比活力在处理后 3，12，24，36 h 均明显高于同期对照（t 检验，$P < 0.05$），其比值分别为 1.62，1.66，1.67，1.51，主要表现为显著激活，48 h 后酶比活力有所下降，但也显著高于对照（t 检验，$P < 0.05$）。

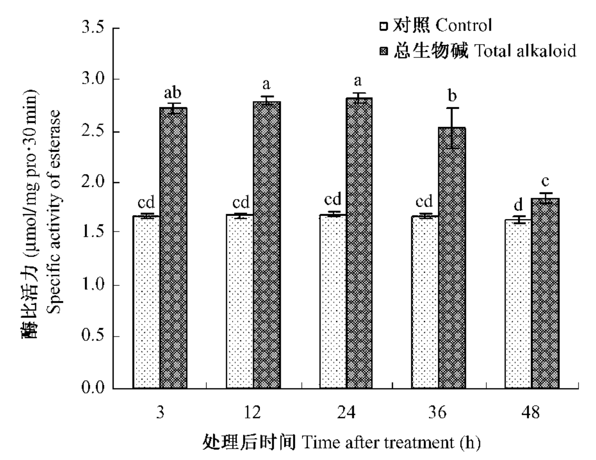


图 1 粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后酯酶活性的变化

Fig. 1 Changes of esterase activities in 5th instar larvae of *Mythimna separata* after treatment with total alkaloid from *Tripterygium wilfordii*

图中数据上方标相同字母者表示差异不显著（Tukey's test，$P < 0.05$）；下图同。Means followed by the same letter are not significantly different（Tukey's test，$P < 0.05$）. The same for the following figures.

2.2 雷公藤总生物碱对粘虫羧酸酯酶活性的影响

粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后羧酸酯酶活性变化见图 2。雷公藤总生物碱处理粘虫 5 龄幼虫后对其体内羧酸酯酶的影响与对酯酶的影响相似。处理后 3，12，24，36 h，其酶比活力与同期对照相比均显著升高（t 检验，$P < 0.05$），48 h 时接近于同期对照（t 检验，$P > 0.05$）。

2.3 雷公藤总生物碱对粘虫 ACP 和 ALP 活性的影响

雷公藤总生物碱对粘虫 ACP 和 ALP 活性的影响见图 3 和 4。可以看出，雷公藤总生物碱对粘虫 5 龄幼虫 ACP 和 ALP 均有非常明显的抑制作用。处理后 3，12，24，36，48 h，ACP 比活力显著低于同期对照（t 检验，$P < 0.05$），说明随着处理时间的延长，对酶的抑制作用逐渐增强；雷公藤总生物碱处理后 3 h，粘虫体内 ALP 比活力与同期对照无显著差异（t 检验，$P > 0.05$），但处理后 12，24，36，48 h 酶比活力分别显著低于同期对照（t 检验，$P < 0.05$），表现为

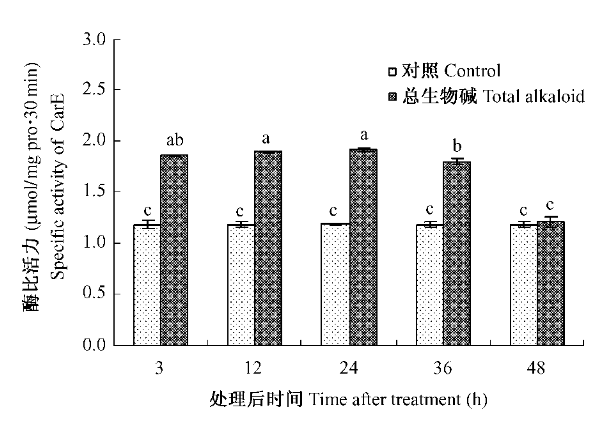


图 2 粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后羧酸酯酶活性的变化

Fig. 2 Changes of carboxyl esterase（CarE）activities in 5th instar larvae of *Mythimna separata* after treatment with total alkaloid from *Tripterygium wilfordii*

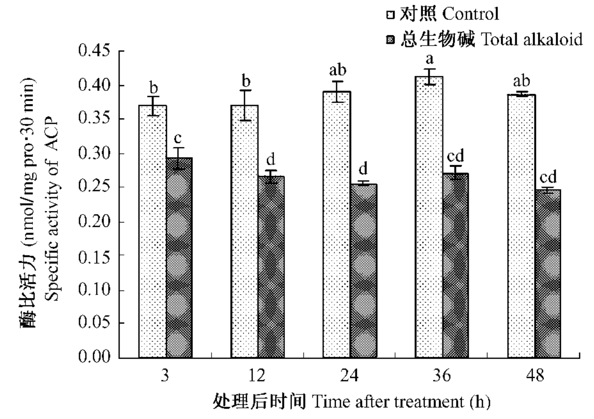


图 3 粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后酸性磷酸酯酶（ACP）活性的变化

Fig. 3 Changes of acid phosphatase（ACP）activities in 5th instar larvae of *Mythimna separata* after treatment with total alkaloid from *Tripterygium wilfordii*

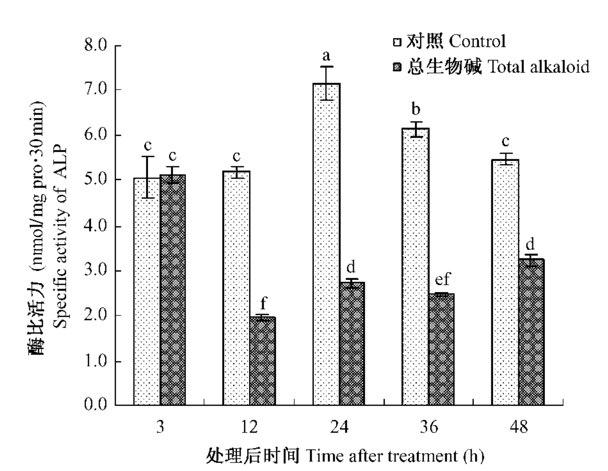


图 4 粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后碱性磷酸酯酶（ALP）活性的变化

Fig. 4 Changes of alkaline phosphatase（ALP）activities in 5th instar larvae of *Mythimna separata* after treatment with total alkaloid from *Tripterygium wilfordii*

强烈的抑制作用。

2.4　雷公藤总生物碱对粘虫谷胱甘肽 S-转移酶活性的影响

粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后谷胱甘肽 S-转移酶活性变化如图 5 所示。图 5 表明，雷公藤总生物碱对粘虫 5 龄幼虫谷胱甘肽 S-转移酶活性具有明显的影响，谷胱甘肽 S-转移酶在处理后 3，12，24 h 被明显激活（t 检验，$P < 0.05$），36 和 48 h 酶比活力接近于同期对照（t 检验，$P > 0.05$），表现出先激活、后抑制的趋势。

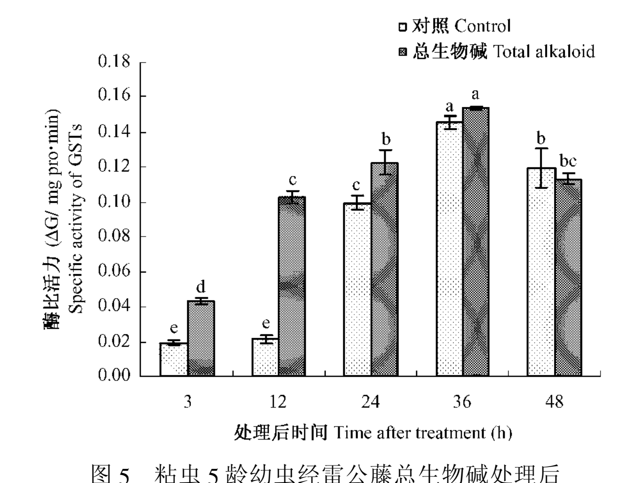


图 5　粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后谷胱甘肽 S-转移酶（GSTs）活性的变化

Fig. 5　Changes of glutathione S-transferases（GSTs）activities in 5th instar larvae of *Mythimna separata* after treatment with total alkaloid from *Tripterygium wilfordii*

2.5　雷公藤生物碱对粘虫细胞色素 P450 O-脱甲基活性的影响

粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后细胞色素 P450 O-脱甲基酶活性测定结果见图 6，可以看出，雷公藤总生物碱对粘虫细胞色素 P450 O-脱甲基酶处理 3 h 后活性变化不明显（t 检验，$P > 0.05$），12 和 24 h 后被激活（t 检验，$P < 0.05$），36 和 48 h 后与对照无显著差异（t 检验，$P > 0.05$）。

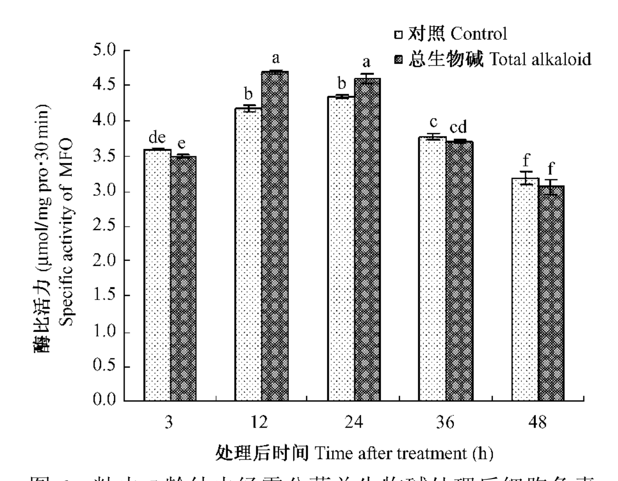


图 6　粘虫 5 龄幼虫经雷公藤总生物碱处理后细胞色素 P450 O-脱甲基酶（MFO）活性的变化

Fig. 6　Changes of O-demethlyase activities of Cytochrome P450（MFO）in 5th instar larvae of *Mythimna separata* after treatment with total alkaloid from *Tripterygium wilfordii*

3　讨论

磷酸酯酶是昆虫体内重要的代谢酶系，可参与多种生化反应，在昆虫生长发育及对外源毒物的解毒代谢方面均具有重要的作用。磷酸酯酶分为酸性磷酸酯酶（ACP）和碱性磷酸酯酶（ALP）两种，ACP 和 ALP 可分别在酸性和碱性条件下水解单核苷酸及核蛋白，为多种代谢过程提供磷酸盐离子（Senthil Nathan *et al*.，2005）。酸性磷酸酯酶还参与转磷酸作用（Sakharov *et al*.，1989），其活性受到抑制，能量代谢所需的磷释放量即会下降，代谢速率和代谢物的转运速率也会降低，势必会影响昆虫正常的生理活动及生长发育。已有研究表明，某些植物源物质可抑制磷酸酯酶活性，如印楝 *Azadirachta indica* A. Juss 中 azadirachtin，salannin，deacetylgedunin，gedunin，17-hydroxyazadiradione 和 deacetylnimbin 6 种具生长发育抑制作用的活性物质均可不同程度地抑制稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*（Guenée）中肠酸性磷酸酯酶和碱性磷酸酯酶的活性（Senthil Nathan *et al*.，2005）。本试验结果也表明了雷公藤总生物碱作为外源毒物被粘虫 5 龄幼虫取食后，明显抑制了体内酸性磷酸酯酶和碱性磷酸酯酶的活性。但雷公藤总生物碱对粘虫生长发育的抑制作用与其对两种磷酸酯酶的抑制之间是否存在明显的相关性仍有待进一步深入研究。

雷公藤总生物碱处理粘虫后酯酶、羧酸酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶和细胞色素 P450 酶系被诱导激活可能是粘虫的一种防御反应。酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶、细胞色素 P450 酶系均为昆虫体内重要的解毒代谢酶，参与各种外源毒物的代谢，如水解、氧化、还原、轭合等。在昆虫与植物的关系中，当昆虫取食非嗜食寄主后，可引起体内多种代谢酶活性的变化，以起到解毒作用，如已有研究显示，取食不同寄主植物的棉蚜 *Aphis gossypii* Glover、小菜蛾等昆虫，其体内代谢酶活性的差异很大（李云寿等，1996a，1996b，1997；董向丽等，1998；冯国蕾等，2001），这种差异可能是因不同寄主中存在不同种类或不同量的次生

代谢产物,昆虫为适应取食而使代谢酶系发生了改变(Riskallah *et al*.,1986)。本研究发现,雷公藤总生物碱处理粘虫后可明显诱导酯酶(包括羧酸酯酶)、谷胱甘肽 S-转移酶及细胞色素 P450 等被激活,这可能是试虫对非嗜食物质的应激反应,即增强代谢以起到解毒作用。这提示我们在开发雷公藤生物碱杀虫剂时,可通过与代谢酶抑制剂进行复配来提高药效。

参 考 文 献(References)

Bessey OA, Lowry OH, Brock MJ, 1964. A method for the rapid determination of alkaline phosphatase with five cubic millimeters of serum. *J. Biol. Chem.*, 164: 321 – 329.

Bradford MM, 1976. A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248 – 254.

Brooth J, Conner J, Meteauf RA, Larsen JR, 1973. A comparative study of the effect of selective inhibitors on esterase from the mosquito *Anopheles punctipennis*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 44B: 1 185 – 1 195.

Chen ZH, 1987. Quantitative measurement and calculation of nutrient index in insects. *Entomological Knowledge*, 24(5): 299 – 301. [陈志辉, 1987. 昆虫营养指标的定量测量与计算. 昆虫知识, 24(5): 299 – 301]

Dong XL, Gao XW, Zheng BZ, 1998. Effect of plant allelochemicals on the glutathione S-transferase and acetylcholinesterase in *Helicoverpa armigera*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 25(1): 72 – 78. [董向丽, 高希武, 郑炳宗, 1998. 植物次生物质对棉铃虫谷胱甘肽 S-转移酶和乙酰胆碱酯酶的影响. 植物保护学报, 25(1): 72 – 78]

Feng GL, Zhao ZW, Li M, He FQ, Jin Y, Li ZQ, Du SX, 2001. Relationship between esterase activities of the cotton aphid (*Aphis gossypii*) and overwintering host plants. *Acta Entomologica Sinica*, 44(3): 304 – 310. [冯国蕾, 赵章武, 李梅, 何凤琴, 金莹, 李宗清, 杜善学, 2001. 不同寄主植物与棉蚜酯酶活性的关系. 昆虫学报, 44(3): 304 – 310]

Gordon HT, 1961. Nutritional factors in insect resistance to chemicals. *Annu. Rev. Entomol.*, 6: 27 – 54.

Hansen LG, Hodgson E, 1971. Biochemical characteristics of insect microsomes: N- and O-demethylation. *Biochem. Pharmacol.*, 20: 1 569 – 1 678.

Li YS, Luo WC, Mu LY, 1996a. Effects of food plants on the aldrin epoxidationase and acetylcholinesterase of the diamondback moth. *Acta Phytophylacica Sinica*, 23(2): 181 – 184. [李云寿, 罗万春, 慕立义, 1996a. 不同寄主植物对小菜蛾艾氏剂环氧化酶和乙酰胆碱酯酶活性的影响. 植物保护学报, 23(2): 181 – 184]

Li YS, Luo WC, Zhao SH, 1996b. Effects of food plants on the activity of carboxylesterase of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Shandong Agricultural University*, 27(2): 147 – 151. [李云寿, 罗万春, 赵善欢, 1996b. 不同寄主植物对小菜蛾羧酸酯酶活性的影响. 山东农业大学学报, 27(2): 147 – 151]

Li YS, Luo WC, Zhao SH, 1997. Studies on the esterase isozyme of the diamondback moth feeding on different host plants. *Journal of Shandong Agricultural University*, 28(1): 5 – 8. [李云寿, 罗万春, 赵善欢, 1997. 取食不同寄主植物的小菜蛾酯酶同工酶的研究. 山东农业大学学报, 28(1): 5 – 8]

Luo DQ, Feng JT, Hu Z, Zhu MJ, Zhang X, 2001. Isolation and bioactivities of the alkaloids from *Tripterygium wilfordii* against *Pieris rapae* L. *J. Northwest Sci-Tech. Univ. Agri. For.* (*Nat. Sci. Ed.*), 29(2): 61 – 64. [罗都强, 冯俊涛, 胡瓒, 祝木金, 张兴, 2001. 雷公藤总生物碱分离及杀虫活性研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 29(2): 61 – 64]

Luo DQ, Zheng X, Feng JT, 2000. Research development of an insecticidal plant *Tripterygium wilfordii* Hook. *Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalis*, 28(3): 84 – 89. [罗都强, 张兴, 冯俊涛, 2000. 杀虫植物雷公藤研究进展. 西北农业大学学报, 28(3): 84 – 89]

Riskallah MR, Dauterman WC, Hodgson E, 1986. Nutritional effects on the induction of cytochrome P-450 and glutathione transferase in larvae of the tobacco budworm *Heliothis virescens* (F.). *Insect Biochem.*, 16: 491 – 499.

Sakharov IY, Makarova IE, Ermolin GA, 1989. Chemical modification and composition of tetrameric isozyme K of alkaline phosphatase from harp seal intestinal mucosa. *Comp. Biochem. Physiol. B*, 92(1): 119 – 122.

Senthil Nathan S, Kalaivani K, Murugan K, Chung PG, 2005. The toxicity and physiological effect of neem limonoids on *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) the rice leaffolder. *Pest. Biochem. Physiol.*, 85: 113 – 122.

van Asperen K, 1962. A study of housefly esterase by means of a sensitive colorimetric method. *J. Insect Physiol.*, 8: 401 – 406.

Wu CC, Wang M, 2003. Effect of different diets on the susceptibility of insecticides and the activity of detoxifying enzymes in the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 5(1): 56 – 60. [吴承春, 王沫, 2003. 不同食料对甜菜夜蛾药剂敏感性及解毒酶活性的影响. 农药学学报, 5(1): 56 – 60]

Xia Y, Duan HQ, Zhang TJ, Gao WY, Zhang J, Zhang YW, 2005. Advances in studies on medicinal plants of *Tripterygium* Hook. f. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 36(7): 1 093 – 1 096. [夏焱, 段宏泉, 张铁军, 高文远, 张骏, 张彦文, 2005. 雷公藤属药用植物的研究进展. 中草药, 36(7): 1 093 – 1 096]

Yang X, Margolies DC, Zhu KY, Buschman LL, 2001. Host plant-induced changes in detoxification enzymes and susceptibility to pesticides in the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.*, 94(2): 381 – 387.

Zhang X, Zhao SH, 1983. Repellant and antifeedant activities of *Melia* plants on several insects. *Journal of South China Agricultural University*, 4(3): 1 – 7. [张兴, 赵善欢, 1983. 楝科植物对几种害虫的拒食和忌避作用. 华南农学院学报, 4(3): 1 – 7]

Zhou L, Feng JT, Ma ZQ, Zhang X, 2006a. Insecticidal activity of total alkaloid from *Tripterygium wilfordii* Hook against *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(4): 401 – 406. [周琳, 冯俊涛, 马志卿, 张兴, 2006a. 雷公藤总生物碱对粘虫的生物活性. 植物保护学报, 33(4): 401 – 406]

Zhou L, Ma ZQ, Feng JT, Li XW, Zhang X, 2006b. Control efficacy of alkaloid products from *Tripterygium wilfordii* Hook against *Plutella xylostella* (L.) and *Pieris rapae*. *J. Northwest Sci-Tech Univ. Agri. For.* (*Nat. Sci. Ed.*), 34(12): 169 – 173. [周琳, 马志卿, 冯俊涛, 李修伟, 张兴, 2006b. 雷公藤生物碱制品对小菜蛾和菜青虫的控制效果. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 34(12): 169 – 173]

(责任编辑: 赵利辉)